

Geometrías Geodésicas Autoconstruidas

Stasi, Gianluca (1)(*), Barrios-Padura, Ángela (2), Molina-Huelva, Marta (3)

(1)(*) Arquitecto, estudio Ctrl+Z. Universidad de Sevilla. Estudiante de Doctorado, Asistente Honorario del Departamento de Estructuras de la Edificación e Ingeniería del Terreno. luca@ctrlz.net.

(2) Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, España.

(3) Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Universidad de Sevilla, España.

Resumen

En la segunda mitad del siglo pasado los sistemas constructivos basados en las geometrías geodésicas se popularizaron entre las comunidades alternativas para la autoconstrucción de viviendas. Sin embargo en el presente se utilizan casi exclusivamente en soluciones hightech para infraestructuras de gran envergadura y presupuestos elevados.

Los precedentes de aplicación de estas tecnologías en entornos lowtech y en autoconstrucción no son positivos. En la actualidad persisten deficiencias en la información y documentación disponible, así como la existencia de equívocos y barreras conceptuales que impiden su correcto desarrollo que han relegado estas tecnologías a un tercer plano.

El panorama tecnológico y de acceso a la información y a la tecnología ha cambiado radicalmente durante los últimos 50 años.

La presente investigación muestra los sistemas geodésicos, propiedades, característica y casos de estudio y su consideración de sostenibles debido a la adaptabilidad a los materiales locales junto con la rapidez de empoderamiento y montaje, no solo respecto al medio ambiente sino también hacía las comunidades, aportándole desarrollo y resiliencia. Son ejemplos de cómo hoy en día es posible acercarse al tema desde un nuevo enfoque y diseñar protocolos de accesibilidad tecnológica que permitan implementar este tipo de estructuras en entornos lowtech y bajo esquemas de autoconstrucción.

Palabras clave Estructuras Geodésicas; Empoderamiento; Sostenible; Lowtech; Auto-Construcción.

1 Introducción

En la primera mitad del siglo XX Walther Bauersfeld y Richard Buckminster Fuller presentaron al mundo la tecnología geodésica para la construcción de cúpulas. Ésta se popularizó en las comunidades alternativas de los años 60, convirtiéndose en el símbolo de la autoconstrucción del propio cobijo. En la actualidad los sistemas geodésicos se emplean casi exclusivamente en soluciones hightech para infraestructuras de gran envergadura y presupuestos elevados como palacios de deportes, aeropuertos, etc.

Sin embargo diversas experiencias han demostrado que las vertientes lowtech de estas tecnologías, pueden aportar un valor añadido y sin competencia para aplicaciones en otros contextos. La eficiencia en el uso de recursos, la rapidez y simplicidad de montaje, la modulación de la construcción, las posibilidades de prefabricación, transporte, evolución y consolidación de las estructuras generadas hacen de las geodésicas estructuras muy apropiadas para la autoconstrucción de viviendas y espacios comunitarios en áreas devastadas por fenómenos naturales (Serrano Rodríguez 2011) o antrópicos, o en otros lugares donde las circunstancias socio-económicas lo requieran. La adaptabilidad a los materiales locales junto a la rapidez de empoderamiento y montaje hacen de los sistemas geodésicos, sistemas sostenibles no solo hacia el medio ambiente sino también hacia las comunidades aportándole desarrollo, resiliencia y no la dependencia que a menudo acompaña las acciones de ayuda.

2 Estado del arte

Las experiencias de autoconstrucción de los años '60 y '70 se desarrollaron en situaciones precarias, sin la organización, y los conocimientos necesarios, construidas por el impulso del entusiasmo por la carrera espacial y en medio de revoluciones sociales que elevaron estos sistemas a símbolo de libertad.

Kenner nos relata cómo hasta 1966 algunas figuras aparecidas en la revista 'Popular Science Monthly' eran todo lo que podía poner en sus manos cualquiera fuera del círculo de los licenciarios de Fuller (Kenner 1976). Eso se debe a que el desarrollo de estos sistemas constructivos estaba relacionado, a principios del siglo pasado, con usos y tecnologías militares. Los conocimientos eran mantenidos como secreto de estado, y para su manejo se requería la máxima discreción, con el objeto de evitar que pasasen al bando enemigo.

No fue hasta 1970 cuando las tablas con los datos necesarios para su construcción, los factores de cuerda, se pusieron a disposición del público en general gracias a la publicación de "Domebook 1" (Kahn 1970), convirtiéndose en referencia e impulsando una ola de construcciones geodésicas basadas en su

mayoría en el icosaedro. Esta publicación así como las siguientes (Kahn 1971), (Prenis 1973), (Yarnall 1978) carecía en su parte teórica y descriptiva de la tecnología de carácter científico y se componían de relatos poco rigurosos sobre las experiencias constructivas desarrolladas. Los datos y algunos de los conceptos básicos contenidos en ellas no coincidían a pesar de haberse generado, en teoría, con las mismas metodologías. Eso contribuyó a crear las confusiones, dudas, dificultades y patologías que se le imputan al sistema constructivo.

Hoy en día Internet nos proporciona la posibilidad de acceder a una enorme cantidad de material y documentación. Sin embargo es muy difícil, y virtualmente imposible para quienes se acercan por primera vez a este argumento, descifrar la información de las teorías que son promulgadas y repetidas sin fundamento ni análisis crítico.

El difícil acercamiento al diseño geodésico se debe históricamente también a la complejidad del diseño esférico que se rige por normas y posee un vocabulario único; no se pueden aplicar los elementos intuitivos que poseemos para el diseño sobre superficies planas. Eso interviene sobretudo en la subdivisión de la superficie esférica para la creación de una malla geodésica, como indicaba Popko “Con un ordenador es fácil dividir uniformemente la circunferencia de un círculo a cualquier nivel de precisión. No es fácil subdividir uniformemente una esfera, ordenador o no” (Popko 2012).

Las experiencias que hemos desarrollado nos han demostrado que, así como para el correcto uso de un teléfono móvil no son necesarios conocimientos avanzados de informática o ingeniería electrónica, para la correcta autoconstrucción y consolidación de estructuras geodésicas no son necesarios estudios profundizados sobre trigonometría esférica, proyecciones estereográficas o los métodos de rotación de los sistemas de coordenadas. En la actualidad estos conocimientos ya no son esenciales para trabajar sobre diseños geodésicos. Partiendo de las tablas existentes éstas se pueden adaptar al sistema constructivo y al material elegido utilizando un número muy reducido de teoremas de la geometría euclidiana, y tampoco esto sería necesario pudiendo acceder a propuestas ya adaptadas que se pueden escalar de forma lineal con una simple calculadora doméstica y adaptar a las necesidades de cada uno. En este momento pero no han sido distribuidas propuestas adaptadas, fiables y coherentes acompañadas por instrucciones lo suficientemente simples para su empleo. El problema real no reside en los métodos de subdivisión, que han sido largamente estudiados, sino en la adaptación de los resultados a los diferentes sistemas constructivos que se puedan utilizar para su la construcción. Hasta el momento se ha considerado las cúpulas geodésicas como un único sistema constructivo.

Es fundamental dejar esta consideración, para empezar a estudiar y definir las características de cada uno y configurar geometrías adecuadas y prácticas para su construcción. Consideramos la falta de adaptación a los diferentes sistemas constructivos como la barrera principal para su empleo efectivo. Por eso más que

un desarrollo técnico consideramos prioritario un cambio en el enfoque y acercarse al argumento de una forma crítica y científica que pueda dar respuestas a las preguntas que han generado la investigación que presentamos. Estamos convencidos que solo así se podrán adaptar de forma eficaz las tecnologías empleadas para la construcción de estructuras geodésicas a la autoconstrucción en entornos lowtech y enfocada a la construcción sostenible.

Respecto a los sistemas existentes nuestra investigación ha catalogado más de una docena de sistemas constructivos, divididos en tres familias tecnológicas¹ según la orientación de los sistemas de ensamblaje de los elementos constructivos que las componen. Cada familia comprende diversos sistemas constructivos, cada uno con sus propias necesidades tecnológicas y características específicas. Las experiencias de construcción de prototipos y proyectos reales desarrollados partiendo desde estos supuestos han demostrado que es posible implementar estas estructuras con mano de obra sin formación previa y con sistemas de formación y ensamblaje muy sencillos haciéndolo un sistema de gran viabilidad en entornos con escasos recursos.

La propuesta desarrollada por nuestra investigación se centra en la accesibilidad tecnológica a la construcción de estructuras de diámetro máximo de 12 metros, con particular enfoque a las de entre los 9 y 6 metros, dimensión apropiada para una vivienda, que si bien son dimensiones limitadas no son despreciables ya que generarían espacios diáfanos de 113, 63 y 28 metros cuadrados respectivamente. Estas medidas nos permiten mantenernos dentro de requerimientos de infraestructuras y tecnológicos lowtech y son adecuadas para generar las viviendas y espacios comunitarios en autoconstrucción de forma sostenible.

En cuanto al material a emplear en soluciones geodésicas la propuesta es la madera como material de partida, específicamente con la que proviene de los pallets que llegan con la ayuda humanitaria en las zona golpeadas por catástrofes, situación en la que se puede plantear este sistema, aunque se están desarrollando desarrollando de forma paralela diferentes estudios y experiencias constructivas a partir de otros materiales. Los requisitos para que su viabilidad quede garantizada son que la construcción deberá poderse llevar a cabo por un grupo reducido de personal no formado, dirigido y coordinado por una sola persona dotada de una formación básica que adquiera en apenas un día. Nuestra investigación se ha desarrollado para demostrar que acercándose a este campo de estudio con un nuevo enfoque es posible crear protocolos de accesibilidad a esta tecnología capaces de promover su aplicación bajo esquemas lowtech y de autoconstrucción, sin la necesidad de conocimientos previos.

¹ Unión Geométrica Independiente, Unión Radial y Unión Tangencial. (Stasi et al. 2016)

3 Casos de estudio

A partir del 2010 se ha desarrollado un trabajo sobre este tipo de sistemas y su sostenibilidad alternando fases de investigación, docencia y aplicación de sus resultados en hasta 20 casos reales, siendo éstos proyectos, workshop o realización de prototipos. cada experiencia se ha articulado puntualmente en el ámbito más amplio de la investigación en su conjunto y ha servido para avanzar en los diferentes aspectos que la componen. ha sido fundamental poder comprobar en situaciones reales las intuiciones desarrolladas durante las investigaciones y poder avanzar en el desarrollo teórico de los sistemas a partir de las experiencia obtenida durante la construcción, completando este ciclo con las actividades docentes y participativas para adaptarlas al empoderamiento de comunidades.

Las primeras experiencias sobre la construcción estructuras geodésicas se realizaron colaborando en el ensamblaje en eventos y ferias de diferentes estructuras geodésicas ligeras basadas en elementos tubulares en 2007 y 2008. Fueron fundamentales para el acercamiento las geometrías geodésicas y a los factores a tener en cuenta para su construcción.

Más tarde entre Octubre y Noviembre de 2010 se diseñaron y construyeron las primeras dos estructuras geodésicas. Una de ellas la cubierta central del Centro Cultural el Nodo2, realizada en México con un sistema constructivo de “Unión Geométrica Independiente”, proporcionó la oportunidad enfrentarse a la construcción y la consolidación de una estructura permanente, completa y cerrada de gran escala. A pesar del éxito de nuestra propuesta a adaptarse a esquemas de autoconstrucción, el sistema constructivo elegido demostró carencias en su adaptabilidad a los entornos lowtech, ya que se tuvo que recurrir a medios auxiliares de escasa accesibilidad, como un camión pluma, y a la mano de obra de soldadores especializados. La experiencia de la construcción de principio a fin de una estructura de tal envergadura ha sido sin duda un hito fundamental para el desarrollo de las experiencias sucesivas y el conocimiento de este tipo de sistemas.

3.1 Los modelos de madera - Unión Tangencial, Brujodésico

Entre 2012 y 2013 se empezaron a construir los primeros prototipos en madera con enfoque lowtech y pensados específicamente para la autoconstrucción. Se buscaba un sistema de fácil implementación, que por medio de operaciones

2 Saltillo, Coahuila de Zaragoza. Diseño y construcción Ctrl+Z (Gianluca Stasi) y Straddle3 Constructors s.l. . Construcción en colaboración A.C.elNodo. Porción geodésica, Ø26,5m. Estructura metálica.

simples y repetitivas se pudiera construir con herramientas básicas y que pudiese asumir las diferencias de medidas que presentan las tablas de pallet que se pretendían utilizar. Al no encontrar referencia de un sistema capaz de adaptarse a los requerimientos establecidos se concibió el sistema Brujodésico³ un nuevo sistema constructivo para la construcción de estructuras geodésicas en madera, que, además, basándose solamente en cortes planos se coloca transversalmente en el panorama tecnológico pudiéndose realizar tanto con herramientas manuales como con fresadora CNC, ingleteadoras u otras herramientas eléctricas.

En vista de la posibilidad de un encargo en Julio 2012 se construyó el primer prototipo⁴ que sirvió para familiarizarnos con la construcción de este sistema constructivo en concreto. Tres meses más tarde empezó la construcción de La casa di Marcello⁵.

La estructura se llevó a cabo en una semana con la ayuda de amigos y voluntarios. La alternancia y la diferente formación de la mano de obra impulsaron la creación de los primeros protocolos de accesibilidad a la tecnología que se diseñaron de forma que la alternancia en los ejecutores no influyese negativamente en la calidad de las piezas producidas o sobre el resultado final. Las operaciones eran simples y repetitivas, cualquiera podía asumir las tareas de cada estación de trabajo después de una formación muy breve y escueta. Eso fue posible gracias a que el diseño de la estructura, de los elementos constructivos y de los flujos y operaciones de trabajo estaba pensado con este fin.

La experiencia del montaje de la Casa de Marcello ha posibilitado avances en la investigación y modificaciones en el diseño que habrían sido imposibles si no se hubiera procedido al desarrollo de la construcción de un proyecto a escala real. Se reconfiguraron diferentes aspectos del sistema constructivo, modificando los elementos implicados y los métodos de ensamblaje de los mismos, reduciendo algunas operaciones y simplificando otras. Estos cambios se aplicaron para la construcción del siguiente prototipo⁶ construido en Junio 2013 en el ámbito del Festival Internacional de Arquitectura Eme3⁷ demostrando su oportunidad y eficacia en términos de empleo de materiales, tiempo de montaje y simplificación de las operaciones. Todas estas experiencias fueron finalmente transformadas en un plan docente que se presentó y fue seleccionado para el 34^o Festival del European Architecture Students Assembly que se celebró en Bulgaria en Agosto 2014.

3 Sistema concebido y diseñado por Ctrl+Z (Gianluca Stasi).

4 Girona. España. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z (Gianluca Stasi) y NoSoloPaja.
Cúpula geodésica v4, Ø 2,0m. Estructura de madera de pallet.

5 Girona. España. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z (Gianluca Stasi) y NoSoloPaja.
Cúpula geodésica v3, Ø 6,0m. Estructura de madera de pallet.

6 Barcelona, España. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z (Gianluca Stasi) y NoSoloPaja.
Cúpula geodésica v3, Ø 4,4m. Estructura de madera de pallet.

7 Festival Eme3,27-30 de Junio, Fabra y Coats Barcelona. 3^{er} premio del festival.

El workshop “Geodesic Geometry” (Fig. 1) contaba con un único tutor (Gianluca Stasi) y 13 estudiantes, y en su parte práctica incluía la construcción de una estructura geodésica⁸ a donar a una iniciativa local al término del festival. Su objetivo era doble, formar un grupo de estudiantes provenientes de toda Europa⁹ y comprobar los protocolos de accesibilidad a la tecnología propuestos para el sistema constructivo Brujodésico.

A pesar de requerir un número de piezas mayor (52% más) y presentar una mayor complejidad respecto la Casa de Marcello, la nueva estructura se montó en plazos similares. Se demuestra de esta forma que la evolución de la tecnología y de los sistemas de producción y montajes propuestos y su aptitud para que una sola persona formada pueda empoderar de forma rápida y eficaz un amplio grupo de personas no familiarizadas con el sistema y dirigir un montaje. Al acabar el festival una estudiante dirigió el desmontaje, el transporte y el nuevo ensamblaje de la estructura demostrando el efectivo y real empoderamiento proporcionado durante la breve duración del workshop y la validez de los protocolos propuestos.

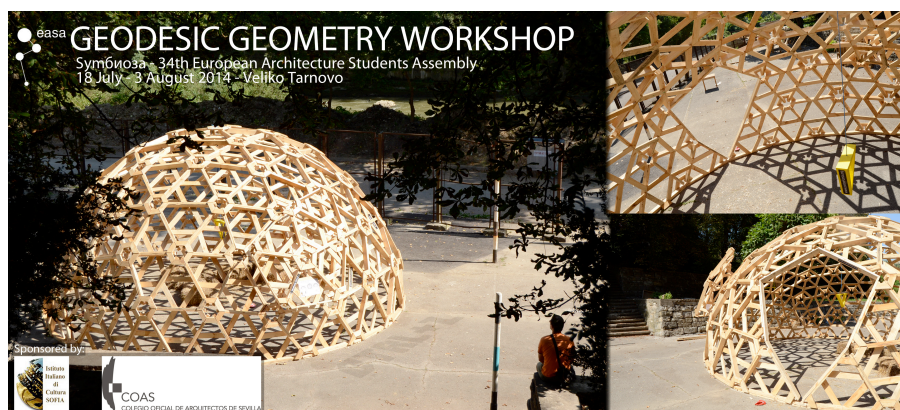


Fig. 1 Estructura realizada durante el workshop “Geodesic Geometry”⁸

3.2 Los modelos Unión Radial - Barra Flexibles

Contemporáneamente y de forma paralela se iba desarrollando otra línea de trabajo basada el sistema constructivo “Unión Radial - Barras Flexibles”. Las dos experiencias no recorrían caminos independientes sino que se iban alimentando la una a la otra de forma directa e indirecta.

⁸ Veliko Tarnovo. Bulgaria. Diseño y responsable de formación y montaje Ctrl+Z (Gianluca Stasi). Cúpula geodésica v4, Ø 8,0m. Estructura de madera de pallet.

⁹ Se contó con estudiantes de Bielorrusia, Bulgaria, España, Finlandia, Francia, Moldavia, Polonia, Portugal, Rusia, Eslovaquia, Eslovenia.

Ese sistema constructivo se basa en elementos lineales que poseen la flexibilidad suficiente para adaptarse a las trayectorias circulares que se diseñan sobre las superficies curvas. Dependiendo del nivel de flexibilidad, esta podría resultar excesiva y por eso perjudicial, de hecho este tipo de sistema no goza de mucha popularidad y no existen muchos ejemplos de su empleo a parte los producidos por la misma investigación propuesta. Para obviar el problema se ha optado por “tejer”, sobreponer, diferentes cúpulas geodésicas sobre la misma superficie. A falta de referencias bibliográficas se ha nombrado este sistema geodésico como “Geodésicas Tejidas”¹⁰. En el caso de las superficies esféricas esto es posible gracias a las propiedades de dualidad¹¹ de los sólidos platónicos utilizados para la generación de las mallas geodésicas, aunque existen, y se pueden aplicar, diferentes estrategias para acercarse al problema. En enero 2013 se construyó en Brasil el primer prototipo¹² y se pudieron comprobar las propiedades estructurales que aporta tejer diferentes geometrías geodésicas sobre una misma superficie.



Fig. 2 Interior del Zome realizando en Brasil, Julio 2016.

En otras experiencias pudimos comprobar cómo, en el sistema constructivo “Unión Radial - Barras Flexibles”, las consideraciones y los métodos de diseño e construcción desarrollados para sistemas esféricos pueden ser fácilmente adaptados a otras geometrías y a otros materiales.

¹⁰ Geodésicas Tejidas: Sistema concebido y diseñado por Ctrl+Z (Gianluca Stasi).

¹¹ “el DUAL de un poliedro tiene un vértice para cada cara y una cara para cada vertice del poliedro original” (Popko, 2012).

Al mismo tiempo se pudo comprobar la adaptabilidad del sistema para ser implementado con personal no formado. De hecho se han podido aplicar de forma inmediata y sin modificaciones relevantes a la construcción de dos estructuras basadas en el Zonoedro^{13,14} (España Marzo 2015 y Brasil Julio 2016) y otras dos basadas en el cilindro (Brasil Septiembre 2015 y España Marzo 2016) estas últimas dos para la construcción de condensadores de agua (atrapanieblas).



Fig. 3 Invernadero geodésico para la “Asociación Jaulas Abiertas”.

Se empezaron entonces a trazar los protocolos de accesibilidad a la tecnología específicos para este sistema constructivo. Esos se aplicaron en dos workshop de carácter teórico y práctico en Octubre 2015 en Málaga¹⁵ y en Abril 2016 en Sevilla¹⁶.

Esos se aplicaron en dos workshop de carácter teórico y práctico en Octubre 2015 en Málaga¹⁵ y en Abril 2016 en Sevilla¹⁶. En ambos se construyeron prototipos a partir de lamas de persianas. Los prototipos de Málaga se donaron a la

12 Piracicaba, San Paulo. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z y Instituto Ambiente Total. Cúpula geodésica v2 “Tejida”, Ø 3,6m. Estructura tiras de bambú.

13 ZONOEDRO: “En el espacio 3D, un poliedro convexo cuyas caras son paralelogramas, cada cara posee un número igual de aristas y cada arista de cada cara es paralela a su arista opuesta y cada una de su caras 2D posee centros de simetría” (Popko, 2012).

14 por ejemplo: Sevilla, España. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z y voluntarios de la Huerta del Rey Moro. Zonoedro geodésico v14 Ø 4,2m. Estructura lamas de persianas de pvc.

“Asociación Jaulas Abiertas - Universidad en Transición” (Fig. 3) la implementación de un invernadero a servicio de la huerta que gestionan.

3.4 Rotegrity

Los “Rotegrity” o “Nexorades” son una técnica de diseño, configuración y construcción de estructuras espaciales y sistemas geodésicos que por la complejidad de su diseño y características estructurales, no se incluyen entre las más aptas para la autoconstrucción lowtech de espacios habitables. Aún más complejo, y estéticamente muy atractivo, resulta combinar estos diseños con los principios del método de las “Geodésicas Tejidas”, se obtiene así una nueva configuración geométrica que hemos nombrado “Rotegrity Dual”¹⁷ (Fig. 4). Exactamente por su complejidad nos parecía interesante testar la “solidez” de los protocolos de accesibilidad tecnológicos objeto de la investigación sobre la autoconstrucción de estructuras de este tipo.

Una vez analizadas las peculiaridades y características inherentes al sistema se ha procedido a la adaptación de los protocolos existentes al caso específico. En Julio 2016 se ha podido comprobar exitosamente su eficacia para la construcción de un primer prototipo¹⁸ en Brasil (Fig 2). La construcción se ha llevado a cabo en dos días con herramientas básicas (machete, sierra de mano, taladro) y personal no formado y ajeno al mundo de la arquitectura y de la construcción, sin verificar incidencias. El resultado tan positivo de esta experiencia nos anima en dar continuidad a la preparación de otra, mucho más ambiciosa y compleja, cuya preparación se había empezado en Mayo 2016 en Sevilla. Las dimensiones de este nuevo prototipo nos obligarán al uso de sistemas lowtech de elevación (de personas o de la estructura misma) y al manejo de piezas mayor dimensión pudiendo así comprobar definitivamente la validez de la propuesta específica y de los protocolos en general.

4 Conclusiones

Los resultados obtenidos en experiencias reales han permitido comprobar y confirmar empíricamente la consideración de los sistemas geodésicos como sostenibles y la importancia de una correcta configuración geométrica y la

15 Málaga, España. Workshop “Escala Local”. Zome + Cúpula, Ø 4,0m.

16 Sevilla, España. Workshop Semana Cultural ETSA Sevilla. Cúpula geodésica, Ø 4,0m.

17 Rotegrity Dual: Sistema concebido y diseñado por Ctrl+Z (Gianluca Stasi).

18 Carmo de Rio Claro, Minas Gerais. Diseño Ctrl+Z. Construcción Ctrl+Z y Instituto
Ambiembinte Total. Cúpula geodésica Dual Rotegrity v2, Ø 4,0m. Estructura tiras de bambú.



Fig.4 Estructura “Rotegrity Dual” en Bambú.¹⁷

aplicabilidad de protocolos de accesibilidad tecnológica diseñados específicamente para la autoconstrucción y el empleo de estas tecnologías y sistemas constructivos en entornos productivos lowtech. Esos han demostrado su capacidad de adaptación a las condiciones específicas de los territorios y de las comunidades en los que se han puesto en uso. Al basarse en materiales locales y formando mano de obra local se promueve la sostenibilidad y la reproducibilidad de las propuestas. Además durante estas experiencias el poder icónico y el imaginario generado por de estas geometrías, conjuntamente a la sorpresa promovida por la rapidez de su montaje, han contribuido a atraer la atención, sumar fuerza y aumentar el debate y las aportaciones alrededor de los proyectos propuestos que en la mayoría de los casos tenían carácter social e independiente. Se ha producido un efecto positivo en la autoestima de las personas involucradas y en su vinculación con los procesos desarrollados.

Por este motivo los objetivos de la investigación no se limitan a la resolución de asuntos técnicos que, en el marco general del proyecto, son pasos intermedios y necesarios, el soporte imprescindible, para llegar a protocolos de accesibilidad tecnológica buscados.

Los protocolos podrán emplearse para alcanzar diferentes objetivos constructivos y en situaciones geográficas y tecnológicas muy distintas, empleando tanto materiales de recuperación como materiales nuevos de los que se podría no disponer de los certificados de calidad o los conocimientos necesarios para interpretarlos correctamente. Por lo que junto a las indicaciones pertinentes sobre la caracterización de los materiales a emplear será necesario acompañar una guía sobre métodos de verificación de materiales para la autoconstrucción, y dar soporte científico a su uso. Estas verificaciones tendrán que poderse llevar a cabo en el entorno tecnológico lowtech en que se enmarca la investigación.

El proceso se completará con la edición de una guía gráfica que hará posible que estos conocimientos puedan llegar a ser asumidos de forma fácil y directa por los que necesiten aplicar sus resultados sin tener que profundizar en las diferentes fases de diseño e investigación.

Más allá de su valor técnico, los resultados de la presente investigación aspiran a configurarse como una herramienta docente y social, pudiendo empoderar a las comunidades, dotándolas de los conocimientos necesarios para asumir un papel protagonista en la resolución de algunas de sus necesidades de forma autónoma e independiente.

5 Bibliografía

- Iglesias García, V. (2012) la tecnología como expresión de la relación de las sociedades con su entorno. Revista ARCUS (Arquitectura, Construcción y Urbanismo Sostenibles). Año 2. Número 2. ISSN 2256-1390.
- Kahn, L. (1970). Domebook 1. Los Gatos (EE.UU.): Pacific Domes.
- Kahn, L. (1971). Domebook 2. Los Gatos (EE.UU.): Pacific Domes.
- Kahn, L., Easton. B. (1973). Shelter. Bolinas (EE.UU.): Shelter Publications, Inc.
- Kenner, H. (1976). Geodesic Math and How to Use It. Berkley (EE.UU.): University of California Press.
- Kruschke, D. (1972). Dome cookbook of geodesic geometry. EE.UU: Autoeditado.
- Lózar de la Viña, M. de. (2013) Casa cúpula en Carbondale, Illinois. R. B. Fuller, 1960. ARQ (Santiago) no.84 Santiago ago. 2013. ISSN 0717-6996
- Popko, E. (2012). Divided Spheres, Geodesics & the Orderly Subdivision of the Sphere. Boca Raton (EE.UU.): CRC Press.
- Prenis, J. (1973). The Dome Builder's Handbook. Philadelphia (EE.UU.): Running Press.
- Serrano Rodríguez, P. (2011). Geodésicos post terremoto. Investigación aplicada en la emergencia. Revista INVI.26 (72): 129-151.
- Yarnall, W. (1978). The Dome Builder's Handbook No.2. Philadelphia (EE.UU.): Running Press.
- Serrano Rodríguez, P. (2011) Geodésicos post terremoto. Investigación aplicada en la emergencia. Revista INVI N°72/agosto 2011/Volumen 26: 129-151.
- Stasi, G., Barrios-Padura, Á., Molina-Huelva, M. (2016) Protocolos de empoderamiento y estructuras geodésicas. XXX Jornadas de Investigación y XII Encuentro Regional SI+ Configuraciones, Acciones y Relatos, Buenos Aires, Octubre 2016. Organizadas por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. Pendiente de publicación.
- Vázquez Peña, E. (2015) Las vigas recíprocas en bambú como tecnología alternativa para la construcción de cubiertas en el Paraguay 2014. Trabajo Final de Grado para optar por el título de Arquitecto. Universidad nacional de Asunción. Facultad de Arquitectura, diseño y arte.